

중국의 지역별 탄소배출 효율성 추정 및 영향요인 분석[†]

반 차*·민동기**

요약 : 중국은 경제규모가 세계 2위를 차지하면서 가장 많은 탄소배출량을 기록하고 있어 탄소배출량을 감축하는 것은 불가피한 당면과제이다. 탄소배출량 감축의 위한 정책 방안 중 하나는 탄소배출 효율성을 증진시키는 것이다. 이를 위하여 본 연구에서는 중국의 30개 지역을 대상으로 지역별 탄소배출단위당 GDP의 비율을 추정한 후 30개성의 탄소배출 효율성을 추정하고 이에 영향을 미치는 요인을 분석하였다. 효율성 분석 결과를 보면 중국의 지역별 탄소배출 효율성 차이가 크게 나타났고 이 중에서 하이난성, 베이징시, 텐진시 등의 탄소배출 효율성은 상대적으로 높게 추정되었다. 또 탄소배출 효율성에 미치는 영향 요인을 분석한 결과를 보면 제3차 산업의 비중이 클수록 탄소배출 효율성이 개선되고, 중공업의 비중이 클수록, 석탄소비 비중이 클수록 그리고 수출입 비중이 클수록 탄소배출 효율성을 악화되는 것으로 추정되었다.

주제어 : 탄소배출효율성, 자료포락분석, 패널분석

JEL 분류 : C4, Q4

접수일(2017년 4월 5일), 수정일(2017년 5월 11일), 게재확정일(2017년 6월 13일)

[†] 본 논문은 반차의 석사학위논문 『중국의 지역별 탄소배출 효율성 추정 및 영향요인 분석』(2017)을 기반으로 요약·정리한 내용입니다.

* 건국대학교 경제학과, 석사 졸업, 주저자(e-mail: lanna326326@Gmail.com)

** 건국대학교 경제학과, 교수, 교신저자(e-mail: dkm2@konkuk.ac.kr)

The Analysis of Carbon Emission Efficiency and Affecting Factors in China[†]

Chi Pan* and Dongki Min**

ABSTRACT : Today, the global environment has so many serious problems such as global warming, ecological destruction and air pollution. Now China is the second largest carbon emissions country in the world. In this paper, we estimated the ratio of GDP per unit of carbon emissions for each of 30 provinces in China, and then also estimated the carbon emission efficiency of 30 provinces and analyzed the factors that affecting them. There are differences in carbon emission efficiency among different provinces, and carbon emission efficiency is relatively high in Hainan Province, Beijing, and Tianjin. In the regression results of the factors affecting the carbon emission efficiency, when the proportion of service industries is higher, the efficiency is higher. Also, when the higher the proportion of heavy industry and the higher the proportion of coal consumption are estimated to be worse.

Keywords : Carbon emission efficiency, DEA, Panel analysis

Received: April 5, 2017, Revised: May 11, 2017, Accepted: June 13, 2017.

[†] This paper is based on the Panchi's master thesis (2017) 『The Analysis of Carbon Emission Efficiency and Affecting Factors in China』.

* Research Fellow, Department of Economics, Konkuk University, First author(e-mail: lanna326326@Gmail.com)

** Professor, Department of Economics, Konkuk University, Corresponding author(e-mail: dkm2@konkuk.ac.kr)

I. 서론

전 세계 국가들의 경제성장과 함께 부작용으로 나타나고 있는 환경파괴는 우리가 살고 있는 삶의 터전을 위협하고 있다. 이러한 환경 영향을 최소화하기 위하여 전 세계 국가들은 다양한 대응 정책을 실행하였으며 환경 개선을 위하여 꾸준히 노력하여왔다. 이러한 정책 중 하나로 기후변화의 주요 요인인 탄소배출량을 저감하기 위한 다양한 정책 방안들이 제안되고 시범적으로 시행되고 있다. 지구온난화에 대응하여 1997년 교토의 정서(Kyoto Protocol)가 채택되었으며 핵심내용은 지구온난화를 유발하는 탄소배출량을 줄이는 것이다. 각국은 2008~2012년까지 제1차 감축공약기간으로 정하고 온실가스 총 배출량을 1990년 수준보다 평균 5.2% 감축하기로 하였다. 그리고 배출권거래(Emission Trading, ET), 공동이행(Joint Implementation, JI), 청정개발체제(Clean Development Mechanism, CDM) 등의 제도를 제안하였다. 2003년에는 『우리 에너지의 미래-저탄소 경제 창조(Our energy future - creating a low carbon economy)』(DTI (2003))에서 저탄소라는 개념을 처음으로 언급하였다. 2015년 프랑스 파리에서 개최된 제 21차 기후변화 협약 당사국총회에서는 2020년에 만료되는 교토의정서를 대체하는 신기후협약 파리협정을 도출하여 이산화탄소 감축에 대해선 각국이 자율적으로 목표를 정할 수 있도록 했지만 5년마다 감축 목표를 제출하도록 하였다. 또한 당사국들은 장기 목표를 “산업화 이전 대비 지구 평균온도 상승폭을 2°C보다 낮게 하며, 향후에는 1.5°C까지 제한하기 위해 노력한다”로 합의하였다. 중국은 2016년 9월에 23번째 국가로 파리협정을 체결하였다. 이제 이산화탄소 감축 문제는 중국이 직시하고 해결해야 하는 현실적인 문제가 되었다.

그동안 이산화탄소 감축과 관련한 국제 회담이 순조롭게 진행되지 못하는 원인 중 하나는 공동이행(Joint Implementation, JI)에 대한 각 국가의 서로 다른 견해 때문이었다. 선진국들은 중국, 인도 등 개도국들도 탄소 감축의무를 같이 담당해야 한다고 주장하는 반면에 개도국들은 ‘교토의정서’에 근거하여 개도국들은 탄소배출량을 감축할 의무가 없다고 주장하면서 77그룹)¹⁾ 및 중국 등 개도국들이 탄소감축을 해야 할 경우에는 선진국의 기술적 및 경제적 지원이 필요하다고 주장하였다. 그러나 중국은 개도국이지만 탄

1) 국제연합(UN) 내 개발도상국들의 상호협력력을 위한 국제기관.

소배출량 1위 국가이므로 탄소배출량 감축은 불가피한 측면이 있다. 따라서 중국은 덴마크 코펜하겐 회담에서 2020년까지 GDP 단위당 탄소배출량을 2005년의 GDP 단위당 탄소배출량 대비 40~45%를 삭감하겠다고 발표하였다. 2014년에 13차 5개년 계획에서는 “녹색 저탄소 성장”이라는 개념을 도입하여 탄소배출량 감축을 목표로 상하이시, 톈진시, 광둥성, 베이징시, 선전시, 후베이성, 충칭시 등 7개 지역을 탄소배출권 거래 테스트 지역으로 지정하였으며 점진적으로 전국으로 탄소배출권 거래시장을 확대할 계획이다. 그리고 탄소배출량 감축을 위해서 에너지 다소비 산업은 에너지 효율성이 높은 풍력, 태양력 등 신재생에너지 사용을 확대하도록 하였다.

탄소배출량 감축은 개발도상국인 중국에 경제적으로 큰 영향을 줄 것이다. 따라서 중국의 탄소배출량 감축 목표를 실현하기 위한 수단으로 탄소배출 효율성을 제고하는 것은 매우 중요한 감축 수단이 될 것이다. 또한 중국이 지역마다 탄소배출량의 차이가 크므로 지역별로 탄소배출 특성을 정확하게 파악하여 지역별로 탄소배출량 감축 정책을 마련하는 것도 중요하다.

본 연구의 목적은 중국의 환경문제가 점차 심각해지고 있는 현실을 감안하여 지역별로 탄소배출 효율성을 분석하고 이에 영향을 미치는 요인을 분석하여 중국의 탄소배출량 삭감 목표를 실현하기 위한 정책 방안의 토대를 마련하는 것이다. 이를 위하여 본 연구에서는 중국을 30개 지역으로 나누어 각 지역을 대상으로 DEA (Data Envelopment Analysis)를 이용하여 지역별 탄소배출량 단위당 산출량의 기술적 효율성을 추정된 후 패널자료 분석(Panel Data Analysis)을 통하여 각 지역의 탄소배출 기술적 효율성에 영향을 미치는 요인을 분석한다.

II. 중국의 탄소배출 현황 및 기존 연구

1. 중국의 탄소배출 현황

중국은 개혁개방 정책을 채택한 1978년 이후에 “중공업중점육성정책”을 추진하여 산업구조를 경공업에서 중공업 중심의 산업구조로 전환하였으며 외국자본의 유입에 힘입어 국내총생산(GDP) 규모가 급속히 증가하였다. 경제 성장에 따라 이산화탄소배출

량도 증가하여 2011년 중국의 이산화탄소배출량은 약 80억 톤으로 전 세계 탄소배출량의 1/4을 차지하여 모든 국가 중 가장 많은 이산화탄소를 배출하였다. 탄소배출량이 많아지는 것은 화석 에너지를 과도하게 소비하는 것을 의미하고 이에 따라 기후변화 등 다양한 환경문제를 초래하고 있다.

최근 30년 동안 중국의 탄소배출대응정책은 3가지 단계로 구분할 수 있다.

첫 번째 단계(1988~2000년)는 국제적인 탄소감축 정책을 의심하고 거부하는 단계이다. 1992년에 ‘유엔기후변화협약’(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)을 리우회의(유엔환경개발회의: UNCED)에서 채택하였는데 중국은 이를 거부하다가 1994년에 이 협약에 가입하였다. 당시에 중국은 개도국에게 의무를 부담시키는 것을 반대하고 선진국들이 탄소배출량을 감축해야 할 책임이 있다는 것을 강조하였다.

두 번째 단계(2001~2010년)는 자발적으로 국제환경회의를 참가하는 단계다. 2000년 이후에 중국은 입장을 많이 바꿨다. 적극적으로 CDM (Clean Development Mechanism)에 참여하고, 2002년에 ‘교토의정서’를 승인을 하였다. 또 2009년 덴마크 코펜하겐에서 열린 기후변화회의에서 2020년까지 GDP 단위당 탄소배출량을 2005년 대비 40~45% 삭감하겠다고 발표하였다. 2000년 이후에 중국이 입장을 바꾼 이유는 20세기 후반에 세계적으로 기후변화가 빈번히 발생함에 따라 생태적 취약성을 인식하게 되었고 에너지 수요가 급속히 증가함에 따라 심각한 환경문제에 직면함으로써 친환경 에너지의 개발 또는 화석에너지의 사용 절감의 필요성을 인식하게 되었기 때문이다.

셋째 단계(2011년~현재)는 탄소배출량 감축 정책을 실행하는 단계다. 중국은 세계적으로 가장 많은 이산화탄소를 배출하여 탄소배출량 감축에 대한 압력을 받고 있다. 이에 대응하여 중국은 이산화탄소배출량 감축을 위하여 2013년에 상하이시, 톈진시, 광둥성, 베이징시, 선전시, 후베이성, 충칭시 등 7개 지역을 탄소배출권 거래 테스트 지역으로 지정하였다. 2014년에는 미국과 함께 <중미 기후변화 공동성명>을 발표하였고 2030년까지 비화석 에너지 사용량을 1차 에너지(Primary energy)²⁾ 소비량의 20%까지 늘리겠다

2) 1차 에너지(Primary energy)란 석유, 석탄, 원자력, 수력, 지열, 장작, 목탄 등과 같이 가공되지 않은 상태에서 공급되는 에너지를 가리킨다. 1차 에너지를 가공하여 얻은 전기, 도시가스, 코크스 등을 2차 에너지라고 부른다.

고 발표하였다.

탄소배출량을 감축을 하는 수단은 주로 3가지가 제안되고 있는데, 첫째는 화석에너지를 대체할 수 있는 친환경에너지를 개발하는 것이다. 둘째는 탄소배출효율성을 제고하는 것이다. 셋째는 조세정책이나 탄소배출권시장 도입 등의 정책을 통해서 산업구조를 개혁시키는 것이다. 화석에너지를 대체하는 친환경에너지를 개발하는 것은 시간이 많이 필요하고, 원자력에너지 등 저탄소에너지도 과도한 초기 비용 및 위험성 문제로 제약이 크다. 따라서 에너지 사용의 탄소배출 효율성을 제고하여 탄소배출량을 감축하는 것은 우선적으로 고려할 수 있는 효율적인 방법이라 할 수 있다.

2014년 13차 5개년 계획에서는 “녹색 저탄소 발전”이라는 정책을 도입하여 탄소배출권시장을 실행하였다. 그리고 2015년 탄소배출회의에서는 2016년에 탄소배출권 시장을 전국적으로 확대 시행하기로 하고, 먼저 전기업, 도금업, 비철 금속업, 건설업, 화학공업, 항공업 등 6개 산업을 대상으로 우선 시행하고 2020년까지 탄소배출권 시장을 전 산업으로 확대하기로 발표하였다.

중국의 지역별 탄소배출량 추정은 <표 1>의 IPCC 탄소배출계수와 <중국 에너지통계 연감>의 지역별 에너지사용량 데이터를 활용한다. 대상 에너지원은 석탄, 코크스, 원유, 휘발유, 디젤유, 등유, 연료유, 천연 가스 등이며 계산식은 다음 식 (1)과 같다.

$$C_{ti} = \sum_{j=1}^n E_{tj} \times T_j \times F_j \tag{1}$$

여기서 C_{ti} 는 지역 i 가 t 년에 배출한 탄소배출량이고, E_{tj} 는 t 년에 j 번째 에너지의 실질소비량, T_j 는 j 번째 에너지의 열량전환계수, F_j 는 j 번째 에너지의 탄소배출계수다.

<표 1> 각 에너지의 탄소배출계수 및 열량전환계수

에너지종류	석탄	코크스	원유	휘발유	등유	디젤유	연료유	천연가스
탄소배출계수 (kgC/GJ)	25.8	25.8	20	19.1	19.6	20.2	21.1	15.3
열량전환계수 (kJ/kg, kJ/m ³)	20,908	28,435	41,816	43,070	43,070	42,652	41,816	38,931

탄소배출계수는 2006년에 <IPCC 국가 온실가스 재고 산정을 위한 기준>(IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories)에서 수집한 것이고, 열량전환계수는 <중국 에너지 연감>에서 수집한 것이다. <표 1> 및 식(1)에 의하여 추정된 지역별 탄소배출량은 <표 2>와 같다. <표 2>를 보면 중국 지역별로 2005~2014년 탄소배출량은 해마다 증가하는 모습을 보인다. 중국의 총 탄소배출총량은 2005년에 209,648.3만 톤부터 2014년에 352,804.3만 톤까지 증가하여 약 68% 증가하였다.

<표 2> 추정된 2005~2014년 중국 개별 지역의 탄소배출량(단위: 만 톤)

	지역	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
동부	베이징시	3,363	3,448	3,662	3,709	3,797	3,847	3,578	3,624	3,282	3,386
	톈진시	3,502	3,738	3,979	3,965	4,264	5,186	5,688	5,732	5,901	5,692
	허베이성	16,416	17,703	19,311	20,108	21,444	23,081	26,100	26,460	26,486	25,184
	상하이시	6,458	6,423	6,594	6,957	6,921	7,568	7,780	7,660	8,001	7,276
	장쑤성	13,595	14,877	16,055	16,277	17,017	19,003	21,906	22,354	22,857	22,705
	저장성	8,442	9,528	10,643	10,862	11,291	12,111	12,817	12,432	12,478	12,337
	푸젠성	3,727	4,143	4,675	4,885	5,781	6,400	7,310	7,249	7,037	8,028
	산둥성	20,191	23,158	25,186	26,712	27,809	30,727	32,365	34,051	33,010	35,301
	광둥성	10,831	12,014	13,038	13,539	14,565	16,356	17,637	17,337	17,166	17,240
	하이남성	445	671	1,242	1,287	1,371	1,495	1,756	1,833	1,689	1,860
	소계	86,970	95,703	104,385	108,301	114,260	125,774	136,937	138,732	137,907	139,009
중부	산서성	16,327	18,160	18,915	18,197	18,116	19,413	21,362	22,278	20,093	23,315
	네이멍구	8,865	14,308	12,026	14,308	15,571	17,159	21,430	22,269	21,739	22,271
	안후이성	5,576	5,989	6,686	7,642	8,409	8,910	9,552	9,980	10,764	11,104
	장서성	3,323	3,627	3,965	4,027	4,217	4,911	5,415	5,440	5,814	5,916
	허남성	12,047	13,660	15,131	15,606	15,944	17,244	19,006	17,769	17,480	17,678
	후베이성	6,846	7,671	8,460	8,298	8,909	10,228	11,640	11,643	10,013	10,114
	후남성	6,113	6,501	7,535	7,453	7,837	8,318	9,270	9,129	8,796	8,539
	소계	59,097	69,916	72,718	75,531	79,003	86,183	97,675	98,508	94,699	98,937
동북부	랴오닝성	13,777	14,886	16,028	16,747	17,350	19,007	20,291	21,007	20,071	20,085
	지린성	4,933	5,214	5,502	6,223	6,367	7,101	8,129	8,031	7,698	7,632
	헤이룽강성	7,019	7,476	8,040	8,535	8,909	9,663	10,365	10,860	10,174	10,314
	소계	25,729	27,576	29,570	31,505	32,626	35,771	38,785	39,898	37,943	38,031

〈표 2〉 추정된 2005년~2014년 중국 개별 지역의 탄소배출량(단위: 만 톤) (Continued)

지역	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
서 부	광시성	2,806	3,060	3,556	3,619	4,013	4,877	5,986	6,568	6,501	6,467
	충칭시	3,017	3,281	3,568	3,732	4,015	4,431	5,048	4,977	4,282	4,587
	쓰촨성	6,464	7,129	7,991	8,390	9,434	9,694	9,793	10,204	10,433	10,784
	구이저우성	4,701	5,399	5,836	5,976	6,545	6,596	7,293	7,979	8,275	7,985
	윈남성	5,032	5,536	5,784	5,949	6,456	6,812	7,031	7,302	7,195	6,455
	산시성	5,057	6,189	6,753	7,490	8,147	9,653	10,679	12,271	13,020	13,722
	간쑤성	3,648	3,891	4,338	4,417	4,360	4,857	5,612	5,778	5,965	6,009
	칭하이성	756	887	1,044	1,137	1,158	1,155	1,362	1,624	1,782	1,661
	닝샤	2,086	2,284	2,537	2,832	3,115	3,685	4,912	5,270	5,604	5,710
	신강	4,285	4,894	5,331	5,914	6,920	7,749	9,172	10,610	12,106	13,447
소계	37,852	42,550	46,738	49,456	54,163	59,509	66,888	72,583	75,163	76,827	
총 계	209,648	235,745	253,411	264,793	280,052	307,237	340,285	349,721	345,712	352,804	

지역별 탄소배출량을 보면 서로 큰 차이를 보이는데 이는 개별 지역 간에 경제수준, 자원, 기술 및 산업구조 등에서 큰 차이가 있기 때문이다. 이러한 지역별 차이를 파악하기 위해서 중국 통계청 자료를 토대로 30개 지역을 동부(베이징시, 톈진시, 허베이성, 상하이시, 장쑤성, 저장성, 푸젠성, 산둥성, 광둥성, 하이남성), 중부(산서성, 네이멍구, 안후이성, 장서성, 허남성, 후베이성, 후남성), 동북부(랴오닝성, 지린성, 헤이룽강성), 서부(광시성, 충칭시, 쓰촨성, 구이저우성, 윈남성, 산시성, 간쑤성, 칭하이성, 닝샤, 신강) 4개 지역으로 분류하여 분석한다. 2014년에 서부 지역의 평균탄소배출량이 7,682.68만 톤으로 가장 적게 배출하였고, 중부 지역의 평균탄소배출량은 14,133.90만 톤으로 가장 많이 배출하였지만 동부 지역은 13,900.90만 톤이고 동북부 지역은 12,677.04만 톤으로 서로 차이가 크지 않았다. 지역별 탄소배출량 차이의 원인 중 하나는 서부지역이 상대적으로 다른 지역보다 공업화 및 경제발전 수준이 낮아서 에너지소비량이 많지 않기 때문이다. 그리고 탄소를 많이 배출하는 5개 지역은 산둥성, 허베이성, 산서성, 장쑤성, 네이멍구이고, 각각 전국 총배출량에 차지하는 비율은 10.01%, 7.14%, 6.61%, 6.43%, 6.31%이다. 탄소배출량이 가장 낮은 5개 지역은 칭하이성, 하이남성, 베이징시, 충칭시, 톈진시이고, 각각 전국 총배출량에 차지하는 비율은 0.47%, 0.53%, 0.96%, 1.30%, 1.61%이다.

2. 기존 연구

기후변화에 대한 전 세계 국가들의 우려가 커짐에 따라 탄소배출량 저감을 위한 다양한 정책 방안이 연구되고 있다. Zhou et al. (2006)은 DEA를 이용하여 OECD국가들의 이산화탄소배출효율성을 추정하였고, Lofgren and Muller (2008)는 에너지사용 효율성 및 탄소배출량의 관계를 연구하여 탄소배출량을 감축하는 효과적인 방법으로 탄소배출 효율성을 제고하는 방안을 제시하였다. Kortelainen (2008)은 1990~2003년 유럽 20개 국가를 대상으로 각 국가별로 에너지 사용량 데이터를 이용해서 Malmquist지수를 측정하고 효율성에 가장 큰 영향을 준 요인으로 기술진보를 제시하였다. Yoichi Kaya (1995)는 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 회의에서 Kaya항등식을 제시하였다. Kaya항등식은 이산화탄소배출량을 국민생활과 긴밀하게 관련된 4개 부분으로 구분한 항등식으로 다음과 같다.

$$CO_2 = \frac{CO_2}{PE} \times \frac{PE}{GDP} \times \frac{GDP}{POP} \times POP \quad (2)$$

여기서 CO_2 는 이산화탄소배출량이고, PE는 에너지소비량, GDP는 국내총생산액, POP는 국내인구수다. $\frac{CO_2}{PE}$ 는 에너지 한 단위당 배출된 탄소량, $\frac{PE}{GDP}$ 는 단위GDP당 에너지소비량을 의미하고, 경제의 에너지 의존 정도를 나타내는 지표이다. $\frac{GDP}{POP}$ 는 1인당 GDP이다. Kaya 항등식을 통해 탄소배출량변화를 인구변화, 경제성장과 에너지소비구조 3가지로 나눠서 분석할 수 있다.

김영미·이명현(2013)은 중국의 탄소배출권 거래 시범지역인 베이징시 및 충칭시의 제조업 24개 부문을 대상으로 지역별 횡단면 자료를 사용하고 투입물거리함수를 추정하여 기술적 효율성, CO_2 암묵가격을 추정한 후 업종별로 생산효율성 제고를 통한 CO_2 잠재 감축량을 추정하고, 두 지역의 탄소배출권 거래를 통한 비용절감 효과를 분석하였다. 베이징시의 CO_2 잠재 감축량은 516만 톤, 충칭시의 CO_2 잠재 감축량은 1,704만 톤으로 추정되었다. 그리고 베이징시, 충칭시의 제조업 부문별 CO_2 한계절감비용은 각각 평

균 3.86달러/톤, 4.97달러/톤으로 추정하였다. 지역 제조업 간의 비교에서는 CO₂ 암묵가격의 표준편차가 상대적으로 더 큰 충칭시가 베이징시에 비하여 탄소배출권 거래에 따른 편익이 더 큰 것으로 나타났고, 베이징시 제조업의 에너지에 대한 자본의 대체가능성이 충칭시보다 더 높게 측정되었기 때문에 자본 확대를 일으키는 CO₂ 감축의 기대효과는 베이징시가 더 높을 것으로 추정하였다. 진위·이명현(2014)은 중국의 지역 간 녹색성장 성과를 비교 분석하고, 중국 30개 성을 중국 국가통계청 자료를 토대로 동부, 중부, 동북부, 서부의 4개 지역으로 구분하여 2000~2010년 기간 동안 4개 지역의 경제성과와 환경성과가 녹색 GDP에 미치는 영향을 측정하였다. 분석 결과를 보면 경제성장과 환경개선이 녹색 GDP에 대한 기여도가 높은 지역은 동부, 동북부로, 기술변화의 파급효과 기여도는 서부, 중부, 동부, 동북부 순으로 나타났다. 곡소아(屈小娥) (2009)의 경우 DEA를 이용해서 중국 각 지역의 CO₂ 배출효율을 측정하였는데 지역 간 차이가 크게 나타났다. 상하이시(上海市), 광둥성(廣東省), 하이난성(海南省)의 이산화탄소배출효율성이 제일 높고, 닝샤(寧夏), 신강(新疆), 산시성(陝西省)의 이산화탄소배출효율성이 가장 낮았다. 제 3차 산업이 차지하는 비중, 대중의 환경보호 의식(교육을 12년 이상 받은 인구 수의 비율) 등이 증가함에 따라 이산화탄소배출효율성이 증가하였고, 대외의존도는 탄소배출 효율성을 감소시키는 것으로 추정하였다. 국제 에너지 기구(International Energy Agency) 조사에 의하면 중국 탄소배출량의 34%는 국제시장에 제공하는 제품을 생산하기 위해 배출된 것이다. 중국이 수출한 상품은 부가가치가 낮고, 자원집약적이고, 단위제품의 에너지소비 및 탄소배출량은 많아서 “오염 천국 가설”(Pollution Haven Hypothesis)이 중국에 존재한다는 결론을 내렸다. 이러한 연구 결과를 토대로 각 지역의 경제 상황, 산업구조, 공업화 정도 등을 고려하여 탄소배출량 감축 정책을 세워야 한다는 결론을 도출하였다. 또, 주원(朱远)·류국평(刘国平) (2015)은 DEA모형을 이용해 1990~2007년 중국, 브라질, 러시아, 인도 4개국의 탄소배출효율성을 측정했는데 브라질의 탄소배출효율성은 제일 높게 추정되었고, 중국의 탄소배출효율성은 가장 낮다는 결과가 나왔다. 4개국의 탄소배출효율성이 차이가 나는 주요 원인으로 경제규모, 산업구조, 도시화 수준의 차이로 분석하였다. 한편 왕은욱(王恩旭)·무춘우(武春友) (2011)는 DEA 분석을 이용하여 1995~2007년 중국의 30개 성의 이산화탄소배출효율성을 연구하였다. 연구 결과에 의하면 이산화탄소배출효율성은 동부지역이 제일 높고, 중부, 동북

부, 서부순으로 나타났다. 동부지역의 이산화탄소배출효율성은 전국 평균보다 높다. 그 원인으로는 서부지역의 열악한 환경시스템, 산업구조 때문인 것으로 나타났다. 장우국(张友国) (2010)은 투입산출표를 이용해서 1987~2007년 중국 경제 발전이 탄소배출강도³⁾에 영향을 준 요인을 분석하였다. 1987~2007년간 중국의 탄소배출강도가 66.02% 하락하였다. 주요 원인은 생산부문에서 에너지 원단위⁴⁾(Energy Intensity)가 떨어진 것으로 추정되었다. 이도(李涛)·부강(傅强) (2011)은 1998~2008년에 중국 29개 지역별로 탄소배출 효율성 지수를 측정하였는데 그 결과에 의하면 중국의 탄소배출 효율성은 점진적으로 개선되어가고 있다. 또 중국의 급속한 경제성장이 탄소배출 효율성을 하락시키는데 영향을 미쳤고, 산업구조의 개혁이 탄소배출 효율성에 긍정적인 영향을 주었지만 각 지역마다 그 수준은 다르게 나타나 서부지역이 가장 많은 영향을 받고, 그다음 중부지역, 동부지역 순으로 나타났다. 여둔용(于敦涌)·장설화(张雪花)·유문영(刘文莹) (2015)은 투입요소를 도시화 수준, 1인당 도로면적, 1인당 녹지면적, 녹지율, 제 3차 산업이 총 GDP에서 차지하는 비율, 근로자 수, 환경보호 투자금액이 총 GDP에서 차지하는 비율, R&D투자, 에너지 소비량으로 선정하고, 단위 GDP당 탄소배출량을 산출요소로 선정해서 SFA (Stochastic Frontier Analysis)를 이용하여 2005~2010년 중국의 30개 지역별로 탄소배출 효율성을 측정하였다. 각 지역 중에 베이징시, 허베이성, 상하이시, 닝샤, 신강은 탄소배출 효율성이 계속 떨어지고 있고, 나머지 지역들의 탄소배출효율성은 개선되어가고 있다는 결과가 나타났다. 하건군(何建坤) (2013)은 Kaya항등식을 이용하여 중국의 탄소배출량이 2030년에 피크에 도달할 것으로 추정하였다. 풍단(彭丹) (2012)은 투입산출분석(Input Output Analysis)을 통해 2000~2010년에 중국의 산업별 탄소배출 현황을 분석하고 인구, 탄소배출강도, 경제생산구조, 시장수요⁵⁾, 1인당 GDP가 탄소배출에 미치는 영향을 분석하였다. 분석 결과에 의하면 1인당 GDP는 탄소배출량을 증가시키는 반면에 산업구조의 개혁 및 기술진보는 탄소배출량을 감소시키는 것으로 분석되었다. 2000~2010년 기간 동안 시장수요가 탄소배출량을 2000년 대비 85.52%증가시켰고, 고정자본 형성 및 수출은 탄소배출량을 2000년 대비 각 36.86% 및 37.09% 증가

3) 탄소배출강도란 단위 국민생산액 한 단위당 탄소배출량을 나타낸다.

4) 에너지원단위란 한 국가 경제의 에너지효율성을 나타내는 척도로, GDP당 에너지 소비량으로 표시된다.

5) 시장수요는 민간소비, 정부소비, 고정자본형성(Fixed Capital Formation) 및 수출 4부분으로 구성된다.

시켰다. 친군(秦军)·탕무여(唐慕尧) (2014)는 Kaya항등식을 이용하여 강쑤성의 탄소배출량의 영향 요인을 연구하였다. 연구결과에 의하면 석탄소비량이 탄소배출량에 가장 큰 영향을 주기 때문에 석탄을 많이 소비하는 에너지구조를 개혁하는 것이 가장 효율적인 방법으로 제안하였다. 유병천(刘丙泉)·상몽방(尚梦芳)·마전선(马占新) (2015)은 DEA를 이용하여 2008~2012년 중국 28개 지역의 탄소배출 효율성을 분석하고 분석 결과를 토대로 각 지역의 탄소 감축비용을 측정하였다. 상대적으로 탄소 감축비용이 낮은 서부지역에게 감축의무를 많이 부담시키면 경제성장을 유지하면서 탄소배출량을 감축할 수 있다고 분석하였다.

III. DEA분석

1. DEA모형

지역별 탄소배출 효율성을 추정을 위하여 본 연구에서 사용하는 자료포락분석법(DEA)은 생산효율성을 측정하는 방법 중 하나로 선형계획법을 활용하여 의사결정단위(DMU)들 간의 상대적인 효율성을 비교하는 기법이다. 이 방법에서는 모든 지역이 효율적으로 생산하고 있다는 가정 대신에 규모에 대한 보수 가정만을 토대로 각 지역에서 주어진 투입요소를 이용하여 산출량을 얼마나 증가시킬 수 있는지를 추정하고 이를 근거로 각 지역의 탄소배출의 기술적 효율성을 추정한다.

산출의 기술적 효율성(Output-oriented Measures of Efficiency)은 주어진 투입요소나 자원을 이용하여 얼마나 더 많은 양을 생산할 수 있는지를 보여준다. 투입의 기술적 효율성 측정은 주어진 산출량을 생산하면서 투입요소를 얼마나 줄일 수 있는지를 추정하여 기술적 효율성을 측정하지만 생산의 기술적 효율성은 주어진 투입요소를 이용하여 생산량을 얼마나 증가시킬 수 있는지를 추정하는 방법이다. 투입요소량 및 산출량 자료를 이용해서 생산가능곡선을 도출하면 가장 효율적인 기업은 생산가능곡선 선상에 있고, 비효율적인 기업은 생산가능곡선 내부에 있게 된다. 생산의 기술적 효율성(Output-oriented Measures of Efficiency)은 식 (3)과 같이 정의된다. 즉, 산출의 기술적 효율성은 주어진 투입요소량에서 현재 산출량 대비 최대 산출량 비율로 나타낸다.

$$F_o(x, y | CRS) = \max(\theta | \theta y \in P(x | CRS)) \quad (3)$$

$$s.t. \sum_{i=1}^I z_i y_{im} \geq \theta y_{im}, m = 1, \dots, M$$

$$\sum_{i=1}^I z_i x_n \leq x_n, n = 1, \dots, N$$

$$z_i \geq 0, i = 1, \dots, I$$

F_o : 지역별 기술적 효율성 지수

m : 산출($m=1, \dots, M$)

n : 투입요소($n=1, \dots, N$)

i : 개별 지역($i=1, \dots, I$)

Z_i : 지역 i 의 intensity variable

기술적 효율성은 규모에 대한 보수 불변(CRS, Constant Returns to Scale) 또는 규모에 대한 보수 가변(VRS, Variable Returns to Scale)을 가정할 수 있는데 규모에 대한 보수 불변을 가정하는 경우에는 가장 효율적으로 생산하는 지역의 규모를 무한대로 확장할 수도 있고, 줄일 수도 있다는 가정을 하는 것이다. 반면에 규모에 대한 보수 가변(VRS, Variable Returns to Scale)을 가정하는 경우에는 규모를 이 시기에 개별 지역의 산출 수준 이상으로 확대하는 것이 불가능하고, 투입요소를 감축하는 경우에도 가장 작은 투입요소를 투입하는 지역의 수준보다 작게 투입할 수 없게 된다.

산출의 기술적 효율성은 주어진 투입 요소량에서 현재 산출량 대비 최대 산출량 비율로 나타내므로 생산가능곡선상에서 생산을 하는 지역은 주어진 투입요소를 이용하여 생산할 수 있는 최대 산출량을 생산하여 기술적 효율성은 1이 된다. 그리고 생산가능집합 내에서 생산을 하고 있는 지역의 기술적 효율성은 주어진 투입요소의 양을 이용하여 생산가능곡선상의 산출량보다 작게 생산하므로 그 값은 1보다 크게 된다.

2. 자료의 수집 및 변수의 선정

중국의 지역별 탄소배출 효율성을 추정하기 위한 자료는 <중국 통계연감>, <중국 공

업경제 통계연감>, <중국 에너지 통계연감>, <중국 인구 및 취업 통계연감>에서 2005-2014년간의 자료를 이용하여 구축하였으며 통계 구축방법이 다른 홍콩, 마카오와 자료가 부족한 서장 지역을 제외한 나머지 30개 지역을 대상으로 하였다.

1) 투입지표

(1) 자본스톡

정부부문에서 공개된 자본스톡 자료가 없기 때문에 장군(張軍) (2004)이 만든 영구 자본 기록법(Perpetual inventory (stock) system)을 사용하여 산정한다. 영구 자본 기록법은 재고자산의 수량을 산정하는 방법의 하나로서, 재고자산의 입고 및 출고상황을 기록하여 그 기록된 내용을 토대로 일정시점의 재고자산을 산정하는 방법이다. 자본스톡도 GDP의 실질가치 평가 기준연도와 같은 2000년도를 기준연도로 하여 산정하고, 공식은 아래 식 (4)와 같다.

$$K_t = I_t + (1 - \delta_t)K_{t-1} \quad (4)$$

여기서 K_t 는 지역별 t년의 고정자본스톡, I_t 는 지역별 t년의 투자액, δ_t 는 지역별 t년의 고정자본 감가상각율이다.

(2) 노동투입

중국 국가통계청이 발행한 <중국 인구 및 취업 통계연감>에서 각 지역별로 집계된 국영기업 취업자, 사기업 취업자 및 자영업자를 합해서 노동투입으로 사용한다.

(3) 에너지소비량

중국 국가통계청이 발행한 <중국 에너지연감>에서 집계한 지역별 에너지 총소비량을 사용한다.

2) 산출지표

산출지표는 탄소배출량 한단위당 지역총생산액(GRDP)이고 각 성의 탄소배출량으

로 해당 성의 지역총생산액을 나눈 값이다. 지역총생산액 자료는 <중국 통계연감>에서 2005~2014년간의 명목 지역총생산액을 수집한 후, GDP지수를 이용하여 지역별로 2000년도 기준 실질 가격으로 전환한 값을 이용한다. 중국의 탄소배출량 데이터가 공개되지 않기 때문에 IPCC 탄소배출계수(<표 1>)와 <중국 에너지통계연감>의 지역별 에너지사용량 자료를 이용하여 각 지역의 탄소배출량을 측정한다. 대상 에너지원은 석탄, 코크스, 원유, 휘발유, 등유, 디젤유, 연료유, 천연 가스 등 8개 에너지원으로 이들 에너지원에 대한 소비량 자료를 이용하여 총 탄소배출량을 측정한다.

위와 같은 방법으로 추정된 2005년부터 2014년까지 중국 30개 성의 지역별 투입 및 산출관련 자료의 통계 특성은 다음 <표 3>과 같다.

<표 3> 2005~2014년 중국 30개 성의 투입 및 산출 자료 특성

	자본스톡 (억 위안)	노동투입 (만 명)	에너지사용량 (10000tce)	GRDP (억 위안)	탄소배출량 (10000ton)
최대값	104,840.36	6,613.74	38,899.25	49,707.92	35,300.93
최소값	1,228.80	291.04	822.20	465.52	445.25
중위값	16,984.18	2,059.50	9,902.44	7,951.79	7,599.98
평균값	22,284.39	2,555.13	12,300.61	10,293.22	9,798.01
표준편차	18,960.80	1,696.14	7,839.89	8,919.17	6,891.63

중국의 30개 지역 평균 자본스톡은 22,284.39억 위안, 평균 노동투입은 2,555.13만 명, 평균 에너지사용량은 12,300.61만 톤, 평균 지역총생산액은 10,293.22억 위안, 평균 탄소배출량은 9,798.01만 톤으로 집계되었다.

3. 분석 결과

본 연구에서는 규모의 대한 보수 불변 가정하에 탄소배출의 기술적 효율성지수를 추정하며 On Front 프로그램을 이용하여 추정된 결과는 다음 표 <표 4>와 같다.

각 지역의 탄소배출효율성을 나타낸 <표 4>를 보면 전국 30개 지역의 탄소배출효율성의 평균은 6.47이다. 지역별 평균을 보면 하이난성이 1로 가장 효율적인 지역으로 추

정되었고 다음은 베이징시, 칭하이성, 텐진시, 상하이시 순으로 나타났다. 허남성이 13.30, 허베이성이 16.97, 산서성이 17.21, 산동성이 19.44로 다른 지역에 비하여 매우 낮은 기술적 효율성을 보이고 있다. 또 30개 지역을 4개 권역으로 구분하여 보면 서부지역은 평균 4.83으로 가장 효율성이 높은 것으로 나타났고, 그 다음은 동북부지역으로 평균 6.38, 동부지역은 평균 6.65로 나타났으며, 마지막으로 중부지역이 평균 8.60로 추정되었다.

〈표 4〉 지역별 탄소배출효율성

	지역	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
동 부	베이징시	2.67	1.89	1.08	1.08	1.03	1.01	1	1	1	1
	텐진시	2.92	2.09	1.26	1.18	1.15	1.32	1.45	1.39	1.5	1.39
	허베이성	34.34	24.49	14.39	14.42	14.36	14.41	13.94	13.16	14.32	11.88
	상하이시	3.77	2.57	1.4	1.44	1.35	1.41	1.51	1.43	1.61	1.38
	장쑤성	19.93	14.2	8.07	7.59	7.17	7.34	7.74	7.34	8.03	7.25
	저장성	11.63	8.75	5.21	5.07	5.01	5.07	4.65	4.15	4.79	4.08
	푸젠성	5.59	4.23	1.78	1.77	2.17	2.3	2.55	2.38	2.62	2.9
	산동성	38.43	29.02	16.88	16.95	16.14	16.59	15.3	14.83	15.51	14.73
	광둥성	13.68	10.15	4.72	4.7	4.93	5.33	5.1	4.75	5.39	4.91
	하이남성	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	동부평균	13.4	9.84	5.58	5.52	5.43	5.58	5.42	5.14	5.58	5.05
중 부	산서성	36.05	27.62	15.18	14.2	13.67	13.65	12.99	12.62	12.63	13.52
	네이멍구	13.69	14	6.08	6.53	6.35	6.48	8.3	8.3	8.68	8.61
	안후이성	11.31	8.36	4.32	5.11	5.43	5.19	4.42	4.32	5.13	4.6
	장서성	8.21	5.85	2.18	2.04	1.97	2.28	2.25	2.1	2.63	2.3
	허남성	26.08	20.94	12.16	11.91	11.19	11.27	10.74	9.09	10.27	9.31
	후베이성	16.33	12.47	6	5.26	5.31	5.86	5.65	5.2	4.73	4.24
	후남성	10.61	7.77	4.69	4.16	4.02	3.85	3.66	3.29	3.51	2.94
		중부평균	17.47	13.86	7.23	7.03	6.85	6.94	6.86	6.42	6.8
동 북 부	랴오닝성	18.56	13.09	7.52	7.28	6.97	6.98	7.06	7.05	7.39	7.16
	지린성	9.5	6.52	3.59	3.7	3.4	3.46	3.86	3.62	3.71	3.56
	헤이룽강성	11.85	8.51	5.01	5.02	4.81	4.89	4.47	4.35	4.49	4.13
		동북부평균	13.3	9.37	5.37	5.33	5.06	5.11	5.13	5.01	5.2

〈표 4〉 지역별 탄소배출효율성 (Continued)

	지역	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
서 부	광시성	5.78	4.32	1.79	1.7	1.83	2.29	2.99	3.33	3.71	3.4
	충칭시	7.37	5.28	2.04	2	2	2.03	2.05	1.82	1.63	1.6
	쓰촨성	13.82	10.53	4.73	4.79	5.26	4.8	3.89	3.78	4.41	4.05
	구이저우성	13.88	10.74	6.24	5.93	6	5.55	5.02	4.96	5.5	4.76
	윈남성	12.58	9.56	5.14	4.88	4.98	5.14	4.13	4.03	4.42	3.45
	산시성	13.87	11.85	7.02	7.43	7.29	7.79	7.03	7.21	7.92	7.55
	간쑤성	9.29	6.56	3.98	3.78	3.45	3.52	3.37	3.05	3.26	2.89
	칭하이성	2.38	1.86	1.17	1.18	1.11	1	1	1.11	1.33	1.2
	닝샤	6.32	4.68	2.78	2.82	3.02	3.21	3.99	4	4.69	4.81
	신강	7.76	6.06	3.6	3.83	4.27	4.59	5.05	5.58	7.03	7.45
	서부평균	9.31	7.14	3.85	3.83	3.92	3.99	3.85	3.89	4.39	4.12
	총 지역평균	12.97	9.83	5.37	5.29	5.22	5.32	5.21	5.01	5.43	5.07

IV. 분석모형 및 실증분석

1. 모형의 설정

본 장에서는 중국의 30개 지역의 패널자료(Panel Data)를 이용하여 중국의 탄소배출 효율성에 영향을 미치는 요인들을 분석한다. 이를 위하여 Fixed effect, Between effect 및 OLS 분석 모형을 이용하여 추정하고 그 결과를 비교 분석한다. 분석을 위하여 포함한 독립변수는 산업구조(제3차 산업이 지역총생산에서 차지하는 비율), 공업구조(중공업이 공업 총 생산액에서 차지하는 비율⁶⁾, 대외의존도(수출입의 합이 지역총생산에서 차지하는 비율), 에너지구조(석탄소비량이 총 에너지소비량에서 차지하는 비율) 등이다. 탄소배출효율성(Eff)에 영향을 미치는 요인 분석을 위한 식은 다음과 같다.

$$\text{Ln}Eff_{it} = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}Ind_{it} + \beta_2 \text{Ln}Str_{it} + \beta_3 \text{Ln}Ope_{it} + \beta_4 \text{Ln}Ene_{it} + \mu_{it} \quad (5)$$

6) 중국통계청에 의하면 중공업은 주로 국민경제 각 부문에 생산요소를 제공하는 산업으로 분류함.

1) 산업구조(Ind): 제3차 산업이 지역총생산에서 차지하는 비율

공업화가 되면서 자원 소비량이 증가하고 자원소비 속도가 자원재생 속도보다 빠르게 진행되어 환경오염은 감당할 수 없을 정도로 악화되고 복원은 어렵게 된다. 그러나 경제성장에 따라 산업구조가 에너지 집약적인 중공업 중심의 제 2차 산업에서 에너지 소비가 상대적으로 작은 서비스업 중심의 제 3차 산업으로 산업구조가 변화되게 되면 탄소배출량 저감에 긍정적인 영향을 줄 수 있다. 따라서 각 지역의 제 3차 산업이 지역총생산에서 차지하는 비율이 클수록 탄소배출 효율성은 증가할 것이다.

2) 공업구조(Str): 중공업이 공업부문 총 생산액에서 차지하는 비율

총 탄소배출량 중 공업부문의 생산과정에서 발생하는 탄소배출량은 상당히 큰 비중을 차지하고 있고, 특히 철강, 기계 등의 중공업은 에너지 집약적이라서 탄소배출량 비중이 크다. 따라서 중공업이 공업 총 생산액에서 차지하는 비율이 클수록 탄소배출 효율성은 악화될 것이다.

3) 대외의존도(Ope): 수출입의 합과 지역총생산액의 비율

중국이 개혁개방 정책을 시행한 이후 국제무역이 크게 증가하고 이로 인해 환경오염과 급증한 이산화탄소배출량은 세계적인 문제로 대두되고 있다. 오염천국가설에 의하면 에너지 다소비 산업이 개발도상국으로 이전함에 따라 국제무역이 증가하게 되면 개발도상국의 에너지사용량을 증가시켜 탄소배출량을 증가시키게 된다.

4) 에너지구조(Ene): 석탄소비량이 총 에너지소비량에서 차지하는 비율

경제활동과정에서 에너지원으로 주로 석탄, 코크스, 휘발유, 디젤유, 천연 가스 등을 사용하는데 에너지 종류별로 발생한 탄소배출량은 차이가 크다. 이 중 석탄은 탄소배출량이 가장 많으므로 에너지구조 지표는 석탄소비량이 총 에너지소비량에서 차지하는 비율로 정의하여 이 비율이 크게 되면 탄소배출량이 증가하게 된다.

2. 변수의 기초통계량

개별 변수들의 기초통계량을 정리한 <표 5>에서 보는 바와 같이 탄소배출효율성(Eff)은 각 지역별로 큰 차이를 보이고 있다. 그리고 대외의존도(Ope)도 지역별로 차이가 커서 그 비율이 가장 큰 지역은 수출입액이 지역총생산액의 1.47배인 반면에 가장 적은 지역이 0.05배로 큰 차이를 보이고 있다. 에너지구조(Ene)를 보면 석탄을 가장 많이 사용한 지역은 석탄사용량이 총 에너지사용량의 90% 이상을 차지하고 있고 석탄 사용비율이 가장 낮은 지역은 석탄 사용비율이 21% 수준이다.

<표 5> 기초통계량(전 기간 평균)

	Effect	Ind	Str	Ope	Ene
최대값	38.43	0.94	0.75	1.47	0.901
최소값	1.000	0.54	0.31	0.05	0.209
중위값	4.810	0.73	0.39	0.14	0.632
평균값	6.472	0.75	0.39	0.34	0.615

3. 분석 결과

Fixed effect 분석 결과를 보면 개별 독립변수들이 탄소배출 효율성에 미치는 영향을 대한 추정 결과가 유의성이 낮은 것으로 나타났다. 이러한 현상의 원인으로서는 각 지역별로 10년간의 시계열 분석을 하는 Fixed effect 분석에서는 개별 독립변수들이 분석대상 기간 10년간 큰 변화가 없고 탄소배출 효율성도 단기간의 독립변수들의 변화에 민감하게 반응하지 않아서 나타나는 현상으로 볼 수 있다. 그러나 각 지역별로 보면 생산 및 투입 규모에 서로 큰 차이가 있어 30개 지역을 대상으로 개별 지역별로 기간 평균한 횡단면 분석을 하는 Between effect 분석 결과를 보면 개별 독립변수와 탄소배출 효율성간의 관계가 유의적으로 나타나 Between effect 분석이 더 유용함을 보여주고 있다. 그리고 각 변수의 유의성이 높게 나타난 OLS분석에서는 그 추정 결과가 시계열에 따른 변화인지 횡단면에 의한 결과인지를 알 수 없다. 그러나 Between effect 분석에서는 시계열 변화 요인을 통제한 분석 결과이므로 Between effect 분석 결과가 OLS분석 결과와 유사하다는 것은 시계열적 변화 요인이 본 분석에 큰 영향을 미치지 못함을 보여준 것이라 할 수

있다. 유의성은 떨어지지만 Fixed effect 분석 결과의 추정치들도 다른 분석 결과와 같은 부호를 가져 개별 독립변수와 탄소배출효율성간의 관계는 유사하게 설명하고 있다.

〈표 6〉 분석 결과

	OLS	Between Effect	Fixed Effect
ln ind	-1.618*** (-5.83)	-2.059** (-2.20)	-0.554* (-1.88)
ln str	0.280 (1.50)	0.666 (0.79)	0.0805 (0.62)
ln ope	0.208*** (4.00)	0.298* (1.78)	0.070 (0.73)
ln ene	1.340*** (8.80)	1.479*** (3.14)	0.202 (0.81)
R ²	0.379	0.371	0.337

주) “()”안 숫자는 t-value를 나타내고, ***, **, *는 각각 1%, 5%, 10%의 유의수준 의미한다.

Between effect 분석 결과를 보면 산업구조(ln ind)의 계수 값은 -2.059로 추정되었다. 이는 제3차 산업이 지역총생산에서 차지하는 비율이 증가하면 탄소배출효율성이 개선됨을 보여주고 있다. 서비스업이 주요 업종인 제3차 산업은 부가가치가 크고 에너지소비가 적은 특성이 있어서 산업구조가 에너지집약적인 공업에서 서비스업 중심의 제3차 산업으로 전환됨에 따라 탄소배출량 감축에 효과적임을 보여준다.

대외의존도(lnope)의 계수는 양의 계수로 추정되어 수출입 비중이 클수록 탄소배출 효율성이 악화되는 것으로 추정되었다. 이는 선행연구에서 곡소어(屈小娥) (2009)의 오염천국가설의 결론과 같은 결과이다. 즉 분석대상 기간 동안 여전히 중국의 수출은 탄소배출량이 큰 상품의 비중이 큼을 보여준다.

공업구조(lnstr)의 추정 계수를 보면 양의 상관관계가 존재한다. 즉, 중공업 생산액이 공업부문 총 생산액에서 차지하는 비율이 증가하면 탄소배출효율성을 악화시키는 것으로 추정되었다. 중국의 공업화 수준이 주요 선진국에 비하여 낮은 수준이므로 앞으로 중공업부문의 총생산액이 점차 증가하게 되면 탄소배출효율성은 더욱 악화될 가능성이 있음을 보여준다.

에너지구조(lnene)의 추정계수도 양의 값으로 추정되어 석탄 사용비율이 높아짐에 따라 탄소배출효율성은 악화되는 것으로 추정되었다. 석탄의 개발 및 사용은 환경 파괴등 심각한 문제를 야기하고 있지만 중국은 석탄자원 많아 에너지 소비 형태를 보면 석탄 소

비량이 장기간에 걸쳐 높은 비중을 차지하고 있다.⁷⁾

V. 요약 및 결론

중국의 경제 규모는 세계 2위, 탄소배출량은 세계 1위로 환경오염우발이 심각한 실정으로 탄소배출량을 감축하는 것은 불가피한 당면 과제가 되었다. 탄소배출량을 감축하려면 생산활동에 악영향을 줄 수 있으므로 탄소배출량을 감축하면서도 지속적으로 경제성장을 유지할 수 있는 방안을 마련하는 것은 매우 중요하다. 이러한 정책 방안 중 하나인 탄소배출 효율성 증진을 위해 본 연구는 중국의 개별 지역의 탄소배출 효율성을 측정하고 탄소배출 효율성에 영향을 미치는 요인을 분석하였다. 본 연구의 주요 결과는 다음과 같다.

첫째, DEA모형을 이용하여 중국의 30개 지역을 대상으로 탄소배출효율성을 추정한 결과를 보면 각 지역별로 탄소배출효율성 수준에 큰 차이가 있음을 보여주고 있다. 하이난성의 효율성은 1로 탄소배출효율성이 가장 효율적인 것으로 추정되었고, 다음으로 베이징시, 칭하이성, 톈진시, 상하이시의 탄소배출효율성은 1에 가깝게 추정되어 탄소배출효율성이 상대적으로 높다. 중국 지역을 4개 권역으로 분류한 권역별 탄소배출효율성을 보면 탄소배출효율성이 낮은 지역은 허남성(13.30), 허베이성(16.97), 산서성(17.21), 산둥성(19.44)으로 주로 중부지역에 있다. 또 후베이성(湖北省), 충칭시(重慶市)는 2005~2014년 기간 동안 탄소배출효율성이 많이 개선되었다. 그리고 지역적으로 보면 서부지역의 탄소배출효율성이 가장 높았고, 그다음으로 동북부, 동부, 중부 순으로 나타났다.

둘째, 탄소배출효율성의 영향요인을 파악하기 위해 패널자료를 이용하여 회귀분석을 했다. 분석 결과를 보면 3차 산업의 비중이 클수록 탄소배출 효율성이 개선되는 것으로 추정되었다. 대외의존도 계수는 양의 값으로 추정되어 수출입 비중이 클수록 탄소배출 효율성이 악화되는 것으로 추정되었다. 또한 총 공업생산액에서 중공업이 차지하는 비중이 클수록 그리고 에너지 사용량 중 석탄사용량 비중이 클수록 탄소배출효율성이 악화되는 것으로 추정되었다.

세계 주요 국가들의 제3차 산업이 GDP에서 차지하는 비율⁸⁾을 보면 2014년에 미국은

7) 중국의 석탄자원 총량은 55,965.63억 톤이며 세계 3위다(1위는 러시아, 2위는 미국이다).

8) 세계은행(<http://data.worldbank.org>)자료 참고.

78%이고, 세계평균은 68%에 이르렀는데 2014년에 중국은 그 비율이 48% 수준으로 세계평균의 71%, 미국의 62%정도로 낮은 수준이다. 그리고 3차 산업 비중의 증가율을 보면 2005년에 41%부터 2014년에 48%까지 연간 증가율 또한 1.58%에 불과하다. 따라서 중국에서 3차 산업 비중이 선진국 수준으로 성장한다면 탄소배출효율성을 상당한 수준으로 개선될 수 있다.

중국의 개별 지역 간에 경제발전 정도, 공업화 정도, 산업구조, 에너지 소비구조 및 기존의 환경상태에 차이가 있어서 각 지역에 알맞은 탄소배출 목표를 세워야 한다. 탄소배출효율성이 상대적으로 낮은 중부지역은 기술이나 자본 지원을 통하여 탄소배출효율성 개선을 유도할 필요가 있고 잠재 감축비율이 상대적으로 크므로 엄격한 탄소배출규칙이나 목표를 제정할 필요가 있다. 그리고 각 지역 간에 기술교류나 협력을 통해 탄소배출 비용이 최소화되도록 하고 지역 간에 탄소배출효율성 차이를 축소하도록 유도해야 한다.

탄소배출시장제도는 이미 상하이시, 톈진시, 광둥성, 베이징시, 선전시, 후베이성, 충칭시 등 7개 지역에서 도입을 하였으며 조만간 전국적으로 확대 실현할 예정이다.

중국은 경제성장에 따라 탄소배출량이 지속적으로 증가하는 것은 불가피한 측면이 있다. 그러나 2020년까지 2005년 대비 GDP 단위 당 탄소배출량을 40~45% 삭감하는 목표를 실현하려면 제 3차 산업을 적극적으로 발전시켜 제 3차 산업이 GDP에서 차지하는 비율을 제고하고 저탄소 녹색산업을 발전시켜야 한다. 그리고 신재생에너지, 항공우주, 해양 공학 등 첨단 산업을 육성, 발전시키는 동시에 산업구조를 개혁하여 공업제품의 부가가치를 늘리며 에너지 다소비 산업을 줄여 나가야 한다. 또 신재생에너지나 탄소배출 기술의 개발 및 응용을 추진하여 과도한 석탄 사용량 비중을 낮추도록 할 필요가 있다.

[References]

- 김영미·이명현, “중국 제조업 부문별 CO₂ 잠재 감축량 및 한계저감비용 지역 간 비교 분석”, 「자원·환경경제연구」, 제22권 제3호, 한국환경경제학회·한국자원경제학회, 2013, pp. 459~479.
- 진 위·이명현, “중국의 녹색성장 성과에 대한 지역 간 비교 분석”, 「CHINA 연구」, 제17집,

- 부산대학교 중국연구소, 2014, pp. 1~2.
- 屈小娥, “中国省际全要素能源效率变动分解-基于Malmquist指数的实证研究”, 「数量经济技术经济研究」, 2009, pp. 29~43.
- 李涛·傅强, “中国省际碳排放效率研究”, 「统计研究」, Vol. 28, No. 7, 2011, pp. 62~71.
- 余敦涌·张雪花·刘文莹, “基于随机前沿分析方法的碳排放效率分析”, 「中国人口·资源与环境」, 2015, (S2).
- 王恩旭·武春友, “基于超效率DEA模型的中国省际生态效率时空差异研究”, 「管理学报」, 2011, pp. 443~450.
- 朱远·刘国平, “金砖四国”碳排放绩效比较研究”, 「亚太经济」, 2015, pp. 78~83.
- 秦军·唐慕尧, “基于Kaya恒等式的江苏省碳排放影响因素研究”, 「生态经济」, Vol. 30, No. 11, 2014.
- 刘丙泉·尚梦芳·马占新, “碳排放效率”发展成本与碳减排成本研究-基于虚拟包络面的统一技术前沿”, 「华东经济管理」, Vol. 29, No. 12, 2015, pp. 88~94.
- 彭丹, 『中国碳排放关键驱动因素影响力分析暨未来碳排放预测研究』, 经济学硕士学位复旦大学, 2012.
- 何建坤, “CO₂排放峰值分析: 中国的减排目标与对策”, 「中国人口·资源与环境」, Vol. 23, No. 12, 2013, pp. 1~9.
- 张友国, “经济发展方式变化对中国碳排放强度的影响”, 「经济研究」, Vol. 4, 2010, pp. 120~133.
- 张军·吴桂英·张吉鹏, “中国省际物质资本存量估算: 1952~2000”, 「经济研究」, Vol. 10, 2004, pp. 35~44.
- DTI, 『Energy White Paper: Our Energy Future-Creating a Low Carbon Economy』, 2003.
- Kaya, Y., “Impact of Carbon Dioxide Emission on GNP Growth: Interpretation of Proposed Scenarios.[R]”, Paris: Presentation to the Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group, IPCC, 1995, pp. 1~25.
- Kortelainen M. Dynamic, “Environmental Performance Analysis: A Malmquist Index Approach,” *Ecological Economics*, Vol. 64, No. 4, 2008, pp. 701~715.
- Lofgren, A. and A. Muller, “The Effect of Energy Efficiency on Swedish Carbon Dioxide Emissions 1993-2004,” Working Paper of University of Gothenburg, No. 311, 2008.
- Zhou, P., B. W. Ang, and K. L. Poh, “Slacks-based Efficiency Measures for Modeling Environmental Performance,” *Ecological Economics*, Vol. 60, No. 1, 2006, pp. 111-118.